

## (TITLE OF INVENTION)

## Sand Pile Driving Method

## 締め固め杭造成工法

5

## (BACKGROUND OF THE INVENTION)

## (Field of the Invention)

## 1. 発明の属する技術分野

本発明は、地盤を改良するために地盤中に砂等の杭を適所に造成する締め固め杭造成工法に関する。

## 10 (Description of the Related Art)

## 2. 従来の技術

軟弱地盤等の改良を行う工法として、改良エリアの適所の地盤中に砂杭を造成して地盤改良を行うサンドコンパクションパイル工法（SCP工法）が従来より知られている。このサンドコンパクションパイル工法による従来の締め固め杭造成工法を説明する。

15 図1に示すように、締め固め杭造成装置1は、図示しない施工機本体に対して上下方向に配置されたケーシングパイプ2と、このケーシングパイプ2を振動させる起振機3と、ケーシングパイプ2の下端側に設けられた締め固め部材4と、この締め固め部材4を上下方向に往復動させるピストンシリンダ機構5とを備えている。

次に、この締め固め杭造成装置1を使用した砂杭造成作業を説明する。起振機3を作  
20 動してケーシングパイプ2を地盤6中の所定深度まで貫入する。次に、ピストンシリンダ機構5を往復動させながらケーシングパイプ2の下端から砂を排出、かつ締め固めながらケーシングパイプ2を所定長だけ上方に引き抜く引き抜き工程を行う。この引き抜き工程によって、ケーシングパイプ2が引き抜かれた地盤6中のスペースに砂が充填される。

25 次に、昇降を止めてケーシングパイプ2内に砂を補給する。そして、ケーシングパイプ2を再度上方に引き抜く工程を行う。この引き工程時にピストンシリンダ機構5を往復動させながら砂を排出、かつ締め固めが行われる。以降、地表に達するまで引き抜き工程の中で締め固めを行うと、ケーシングパイプ2を貫入した位置に図2Aに示すような砂杭7が造成される。このような砂杭7を改良エリアに適当間隔に造成する。

30 ところで、地盤改良したい原地盤6の強度は、均一ではなくバラツキがあるのは一般的である。そのため、原地盤6の強度に応じて造成する砂杭7の杭径及び強度のいずれ

か一方、若しくは双方を可変させる工法を発明者が先に提案した。

発明者の先の提案は、日本国特許第136138号および第1521542号に開示されており、例えば杭径のみを可変する場合は、締め固め工程においてピストンシリンダ機構5が砂杭7を下方に押圧する押圧力を検出し、この押圧力が所定の設置値に達するまで砂杭7を押圧する。原地盤6が軟弱な箇所では砂杭7が拡張する方向に大きく圧縮変形して初めて押圧力が所定の設定値に達し、大きな径の砂杭7が造成される。

また、原地盤6が硬い箇所では砂杭7があまり拡張しないで押圧力が所定の設定値に達し、比較的小さな径の砂杭7が造成される。このように締め固め工程において、ピストンシリンダ機構5の押圧力を一定とする砂杭7を造成することによって原地盤の軟弱性に応じた地盤補強、均一な地盤改良を実現する。

### (SUMMARY OF THE INVENTION)

#### 発明の概要

しかしながら、前記従来の締め固め杭造成工法では、ピストンシリンダ機構5が上方から単に押圧することによって砂杭7を造成しているが、単なる上方からの押圧力だけでは砂杭7が確実に締め固まるとは限らない。つまり、同じ押圧力を作用させても同じ強度の砂杭7が造成されとは限らない。そのうえ、ピストンシリンダ機構5の押圧力のみを砂杭7の締め固め状態、つまり、砂杭7の強度を評価する情報としているため、従来の工法では所望の強度の杭を造成できない場合があった。

本発明の第1の技術的側面によれば、ケーシングパイプを地盤中の所定深度まで貫入する初期貫入工程の後に、前記ケーシングパイプの下端から粉粒体を排出しつつ前記ケーシングパイプを引き抜く引き抜き工程と、前記ケーシングパイプを再貫入して排出した粉粒体を締め固める締め固め工程とを交互に繰り返して地盤中に粉粒体の杭を造成する締め固め杭造成工法において、前記締め固め工程は、前記ケーシングパイプを回転しつつ下方に押圧して粉粒体の杭を締め固める工程であって、前記ケーシングパイプを粉粒体の杭に対して回転するための駆動トルクに応じて締め固め時間が調整される締め固め杭造成工法が提供される。

本発明の第2の技術的側面によれば、ケーシングパイプを地盤中の所定深度まで貫入する初期貫入工程の後に、前記ケーシングパイプの下端から粉粒体を排出しつつ前記ケーシングパイプを引き抜く引き抜き工程と、前記ケーシングパイプを再貫入して排出した粉粒体を締め固める締め固め工程とを交互に繰り返して地盤中に粉粒体の杭を造成す

る締め固め杭造成工法において、前記締め固め工程は、前記ケーシングパイプを回転しつつ下方に押圧して粉粒体の杭を締め固める工程であって、前記ケーシングパイプが粉粒体の杭を押圧する押圧力および前記ケーシングパイプを粉粒体の杭に対して回転するための駆動トルクに応じて算出される締め固め状態が所定の状態に達した時点で締め固めを完了する締め固め杭造成工法が提供される。

さらに、従来の締め固め杭造成工法では、原地盤 6 が非常に軟弱であると、ピストンシリンダ機構 5 の押圧力が所定の設定値に達するまでに砂杭 7 の径があまりにも大きくなり過ぎ、図 2 B の左側に示すような大径の砂杭 8 が造成されることになる。最悪の場合には、ピストンシリンダ機構 5 の押圧力が所定の設定値に達せずに、作業を一旦中止することにもなる。以上より、トータルの施工時間やトータルの砂量が増加し、これらの増加は、工事費の増大につながった。特に、施工開始初期のように周囲に何ら砂杭 7 が造成されていない箇所では、上述のような問題が発生する可能性が高かった。

本発明の第 3 の技術的側面によれば、ケーシングパイプを地盤中の所定深度まで貫入する初期貫入工程の後に、前記ケーシングパイプの下端から粉粒体を排出しつつ前記ケーシングパイプを引き抜く引き抜き工程と、前記ケーシングパイプを再貫入して排出した粉粒体を締め固める締め固め工程とを交互に繰り返して地盤中に粉粒体の杭を造成する締め固め杭造成工法において、前記締め固め工程では、前記ケーシングパイプが粉粒体を締め固めする際の締め固め状態と、前記ケーシングパイプによって締め固められた粉粒体の杭断面積とを常時算出し、前記ケーシングパイプの締め固めによって粉粒体の杭断面積が最小杭断面積に達する前に締め固め状態が所定の状態に達した場合には粉粒体の杭断面積が最小杭断面積に達した時点で締め固めを完了し、前記ケーシングパイプの締め固めによって粉粒体の杭断面積が最大杭断面積に達する前に締め固め状態が所定の状態に達した場合にはその時点で締め固めを完了し、締め固め状態が所定の状態に達する前に前記ケーシングパイプの締め固めによる粉粒体の杭断面積が最大杭断面積に達した場合には粉粒体の杭断面積が最大杭断面積に達した時点で締め固めを完了する締め固め杭造成工法が提供される。

さらに、従来の締め固め杭造成工法では、原地盤 6 が極めて軟弱な地盤の場合には、十分な強度を得ることが困難であったり、砂杭を造成する過程においてすでに造成した領域と未造成領域との間で強度の局在化を原因とする顕著な変位が発生する場合もある。

本発明の第 4 の技術的側面によれば、ケーシングパイプを地盤中の所定深度まで貫入する初期貫入工程の後に、前記ケーシングパイプの下端から粉粒体を排出しつつ前記ケーシングパイプを引き抜く引き抜き工程と、前記ケーシングパイプを再貫入して排出し

た粉粒体を締め固める締め固め工程とを交互に繰り返して地盤中に粉粒体の杭を造成する締め固め杭造成工法であって、前記締め固め工程は、前記ケーシングパイプを回転しつつ下方に押圧して粉粒体の杭を締め固める工程であるものが、（１）所定のエリア内に第１の複数の杭を造成する第１の段階と、（２）前記エリア内に造成された前記第１の複数の杭の間にさらに第２の複数の杭を造成する第２の段階とからなり、さらに、少なくとも前記第１の複数の杭の１つの造成の前記締め固め工程は、前記ケーシングパイプが粉粒体の杭を押圧する押圧力および前記ケーシングパイプを粉粒体の杭に対して回転するための駆動トルクに応じて締め固め時間が調整される締め固め杭造成工法が提供される。

#### (BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS)

##### 図面の簡単な説明

図１は、従来例の締め固め杭造成装置の要部の構成図である。

図２Ａは、地盤中に造成された砂杭を示す断面図、図２Ｂは、非常に軟弱な地盤上に造成された砂杭とほぼ標準的な径の砂杭を示す断面図である。

図３は、本発明に係る締め固め杭造成装置の側面図である。

図４Ａは本発明に係る締め固め杭造成装置の回転機構の正面図、図４Ｂは図４Ａ中ⅣＢ－ⅣＢ線に沿う断面図である。

図５は、本発明に係る締め固め杭造成装置の制御系の要部回路ブロック図である。

図６は、本発明の第１実施形態に係る締め固め杭造成のフローチャートである。

図７は、本発明に係る締め固め杭造成工法を説明する工程図である。

図８は、本発明の第２実施形態に係る締め固め杭造成のフローチャートである。

図９は、本発明に係る締め固め杭造成による造成杭の最小杭径と最大杭径を示す図である。

図１０は、本発明に係る締め固め杭造成におけるパラメータＦと杭径との関係を示す図である。

図１１は、本発明の一実施形態であって、第１ステージの造成と第２ステージの造成を示す図である。

図１２は、回転機構の変形例の要部の斜視図である。



## (DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT)

## 発明の実施の形態

以下、本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。

図3～図7は本発明の一実施形態を示し、図3は締め固め杭造成装置の側面図、図4  
 5 Aは回動機構の正面図、図4Bは図4A中IVB-IVB線に沿う断面図、図5は締め固め  
 杭造成装置の制御系の要部回路ブロック図、図6は締め固め杭造成時のフローチャート、  
 図7は締め固め杭造成工法を説明する工程図である。

図3に示すように、締め固め杭造成装置10は、施工機本体11の前面にリーダ12  
 10 を有し、このリーダ12は地盤6の表面より上方位置で鉛直方向に立設されている。こ  
 のリーダ12には鉛直方向に沿ってケーシングパイプ（中空パイプ）13が昇降自在に  
 配置されている。

ケーシングパイプ13は円筒形状を有し、その上端側にはホッパー14が設けられて  
 いる。このホッパー14よりケーシングパイプ13内に粉粒体である砂15を投入でき  
 る。また、ケーシングパイプ13には、該ケーシングパイプ13内に堆積された砂15  
 15 （図7にのみ示す）の砂面位置を検出する砂面センサ16（図5にのみ示す）が設けら  
 れている。なお、ケーシングパイプ13の外周面には螺旋羽根を取り付けることもでき  
 る。また、ケーシングパイプ13の下部に切削ビットを取りつけることもできる。

昇降機構17は、図示しない昇降用モータとこの昇降用モータの回転力をケーシング  
 パイプ13に伝達する図示しない動力伝達手段とを有し、ケーシングパイプ13を地盤  
 20 6中に昇降動させる。また、昇降機構17には、ケーシングパイプ13の昇降動作時の  
 油圧を検出する油圧センサ18が設けられている。さらに、昇降機構17には、ケーシ  
 ングパイプ13の下端の深度を検知する深度計19が設けられている。

回動機構20は、図4A、4Bに示すように、左右一対の回転用モータ21、21と、  
 この各モータ21の回転軸に固定された第1ギア22と、この各第1ギア22が共に噛  
 25 み合い、ケーシングパイプ13の外周の同軸上で固定された第2ギア23とを有し、ケ  
 ーシングパイプ13を一定方向に連続的に回転させる。また、回動機構20は、回動用  
 モータ21の駆動電流を検出する電流センサ24を備える。なお、駆動電流は回動用モ  
 ータ21の駆動回路の電流検出回路から直接的にまたは制御回路から間接的に検出する  
 ことができる。

30 スイベルジョイント25は、図4Aに示すように、回動機構20の下方位置のケーシ  
 ングパイプ13に設けられ、このスイベルジョイント25を介してエアパイプ26が  
 連結されている。エアパイプ26の他端側は図示しない空気圧縮機が接続され、エア

ーパイプ26を介してケーシングパイプ13に加圧エアーを供給できる。

次に、締め固め杭造成装置10の制御系を説明する。図5に示すように、砂面センサ16、油圧センサ18、深度計19、電流センサ24の各検出出力が制御部25に入力され、制御部27はこれら情報等に基づいて昇降機構17、回動機構20、空気圧縮機5などを制御するようになっている。制御部27は、油圧センサ18の検出する油圧値がケーシングパイプ13の下端13aで砂杭30を押圧する押圧力（砂杭30からの反力）に比例することから、油圧センサ18の油圧値より押圧力を演算により得る。制御部27は、電流センサ24の検出する電流値がケーシングパイプ13の回転負荷に比例することから、電流センサ24の電流値よりケーシングパイプ13のトルクを演算により得る。

また、各種センサの検出情報などは制御部27が施工機本体11の運転席位置に設けられた計器盤28に表示する。運転者は、計器盤28より締め固め造成作業の状況を把握し、監視できる。

なお、以下の実施形態の説明では、杭材料である粉粒体として砂15を例として説明するが、杭材料としては砂15に限られず、砂利、碎石等の砂類似粒状材料や固化材及び砂15や砂利等を含めたそれらの混合物、例えば碎石と鉄粉との混合物等を用いても良い。

#### (First Embodiment)

##### 20 第1実施形態

締め固め杭造成装置10による締め固め杭造成作業の第1実施形態を図6のフロー及び図7の説明図に基づいて説明する。まず、図7の(1)の状態に示すように、締め固め杭造成装置10を所望の施工位置まで移動し、立設されたケーシングパイプ13内にホッパー14より砂15を投入する。次に、図7の(2)の状態に示すように、昇降機構17及び回動機構20を駆動してケーシングパイプ13を地盤6中に回転しつつ降下させる初期貫入工程を開始する（ステップS1）。深度計19でケーシングパイプ13の下端13aが所定の深度Lに達したか否かを常時チェックし（ステップS2）、図7の(3)の状態に示すように、ケーシングパイプ13の下端13aが所定の深度Lに達した時点で初期貫入工程を終了する（ステップS3）。

次に、図7の(4)の状態に示すように、ケーシングパイプ13内を加圧エアーで加圧し、ケーシングパイプ13の下端13aから砂15を排出しつつケーシングパイプ13を所定長さL1だけ引き抜く引き抜き工程を開始する（ステップS4）。深度計19

でケーシングパイプ13が所定の引き抜き量L1だけ引き抜かれたか否かを常時チェックし（ステップS5）、ケーシングパイプ13が所定長さL1引き抜き砂面センサによる砂面確認後にケーシングパイプ13内の加圧エアーを抜き、引き抜き工程を終了する（ステップS6）。この引き抜き工程によって、ケーシングパイプ13が引き抜かれた地盤6中のスペースに砂15が充填される。

次に、図7の（5）の状態に示すように、昇降機構17及び回転機構20を駆動してケーシングパイプ13を回転しつつ降下させることによって再貫入する締め固め工程を開始する（ステップS7）。この締め固め工程では、ケーシングパイプ13によって締め固められた杭の堅さ状態を杭強度を象徴する締め固め状態 $\phi$ （後述）として見積り、所定の条件 $\phi_0$ を満たしたか否か（ステップS8）をチェックする。

締め固め工程では原則として杭の強度が所定値に達することが必要なので杭強度をより正確に推定することが重要である。そのために杭強度を反映する杭の締め固め状態 $\phi$ を定量的に評価するために以下に述べる締め固め力Fというパラメータを採用する。

押圧力Pがケーシングパイプ下部周辺における粉流体の主として高さ方向の圧縮力に関連することに加えて、駆動トルクTが回転運動を介してケーシングパイプ下部周辺の主として横方向の締め固め力（圧縮力）を反映し、駆動トルクまたは両者を併せて考慮して締め固め状態を推定することにより杭の強度（堅さ）がよりの確に把握されることを発明者が見いだした。ケーシングパイプの回転運動に伴って、その下部がその周辺の粉流体と相互作用をする結果横方向（回転軸と交わる方向）の圧縮力を生じ、さらに押圧力による高さ方向の圧縮力を横方向の圧縮力に変換する作用もある。したがって、たとえば押圧力Pまたは駆動トルクTが大きいときには、高さ方向の圧縮力が大きくまたは横方向の圧縮力が大きいので締め固めが速やかに進行すると推定されるので、締め固め力Fが大きいと評価され締め固め時間がより短く設定されるべきである。

本発明によれば、ケーシングパイプ13が粉粒体の杭を押圧する押圧力Pのみならずケーシングパイプを粉粒体の杭に対して回転するための駆動トルクTに基づいて杭の強度を反映する締め固め状態 $\phi$ を見積り、締め固め状態が所定の条件 $\phi_0$ を満たした状態に到達するように締め固める。より具体的には、締め固め状態 $\phi$ を定量的に評価するパラメータとして締め固め力Fを推定し、締め固め力Fが所定の値 $F_0$ となるように締め固め時間が調整される。したがって、締め固めにより締め固め力Fが所定値 $F_0$ に達した時点で締め固めを完了する。所定の締め固め条件 $\phi_0$ に対応する締め固め力の所定値 $F_0$ は施工データなどから予め算出されるが、締め固め工程中に締め固めの状態や杭周辺の地盤の状態に応じて適宜変更設定することができる。なお、締め固め力という用語は杭の強

度（堅さ）に関連する締め固め状態を象徴する定量的パラメータを意味し、以下の説明では推定される締め固め状態の一例として表現される。

駆動トルクは押圧力の情報を内包しうるので締め固め状態として駆動トルクのみを構成要素とすることもできる。また押圧力の検出に支障が生じた場合にも同様である。この場合には以下の記述において押圧力Pおよび駆動トルクTについての情報を駆動トルクTに代表させて締め固め状態を見積もることができる。

本発明において駆動トルクTという用語はケーシングパイプ下部において発生する抵抗力に抗して回転するために必要な正味の駆動トルクの情報を含むパラメータを意味する。なお、回転機構に油圧を利用する場合には油圧からトルクTが算出されることは当業者に容易に理解されるであろう。また、本実施形態において駆動トルクTは駆動モータの駆動電流から得られるものとしているが、駆動電流に代えてケーシングパイプの回転速度などの回転に関連する実測可能な物理量によって結果としてケーシングパイプ下部において発生する抵抗力が推定される場合にも、本発明ではこの推定された抵抗力を駆動トルクTとして扱う。

締め固め工程以降は、前述したケーシングパイプ13の引き抜き工程と締め固め工程とを交互に繰り返す。これら繰り返し過程でケーシングパイプ13内の砂15が少なくなれば、その時点でケーシングパイプ13内のエアを抜き、砂15の補給作業を行う。そして、図7の（6）の状態に示すように、ケーシングパイプ13の下端13aの深度がゼロに達した時点で終了する（ステップS12）。その結果、ケーシングパイプ13を初期貫入させた位置に所定の締め付け力で締め付けられた砂杭30が造成される。

本実施形態の締め固め工程では、ケーシングパイプ13を下方に押圧すると共にケーシングパイプ13を回転して砂15を締め固め、その締め固め状態は、ケーシングパイプ13が砂13に対して回転するための駆動トルクTまたはそれと共にケーシングパイプ13が砂15を押圧する押圧力Pに基づいて見積もられる。つまり、上述したように、柱状の砂15を締め固める場合にはケーシングパイプ13から押圧力Pのみを加える場合よりも押圧力PとトルクTを共に加えた方が確実に締め固めされる。さらに、押圧力PやトルクTは容易に所定の実測値から見積もることができるので、見積もられた押圧力PおよびトルクTに基づいて推定される締め固め状態 $\phi$ が所定の状態つまり所定の条件 $\phi_0$ を満たした時点で締め固めを完了させる方法は、押圧とともに回転を用いる締め固め工法に適した方法である。

本実施形態にかかる締め固め杭造成方法によれば、殊にケーシングパイプを回転しつつ下方に押圧して粉粒体の杭を締め固める工程を有する締め固め杭造成工法において、



必然的に実測可能な駆動トルクと押圧力から杭強度を正確に推定して適切な締め固めを行うことができる。また、杭強度を推定するために新たな機構を締め固め杭造成装置に付加するなどの変更の必要はなく、トルク  $T$  を見積もることができれば十分である。

## 5 (Second Embodiment)

### 第2実施形態

締め固め杭造成装置 10 による締め固め杭造成作業の第2実施形態を図6～図7に基づいて説明する。なお、本実施形態においては、図3～5に示す締め固め杭造成装置 10 および図6に示す初期貫入工程から引き抜き工程まで（ステップ  $S1 \sim S6$ ）は第1実施形態と同じなのでこれらの説明は省略する。

引き抜き工程（ステップ  $S6$ ）によって、ケーシングパイプ 13 が引き抜かれた地盤 6 中のスペースに砂 15 が充填されると、次に、図7の（5）の状態に示すように、昇降機構 17 及び回転機構 20 を駆動してケーシングパイプ 13 を回転しつつ降下させることによって再貫入する締め固め工程を開始する（ステップ  $S7$ ）。この締め固め工程では、後述の表現式（1）で定義されるケーシングパイプ 13 による締め固め力  $F$  により締め固め状態  $\phi$  を推定し、 $F$  が所定の設定値  $F_0$  以上である否かにより所定の条件  $\phi_0$  を満たしたか否か（ステップ  $S8$ ）をチェックする。

締め付け力  $F$  は第1実施形態ですでに説明したように、締め固めを開始してからの時々刻々の締め固めの累積の結果得られる締め付け状態  $\phi$  を象徴するパラメータであり、本実施形態においては、ケーシングパイプ 13 の押圧力を  $P$ 、ケーシングパイプ 13 を回転させるための駆動トルクを  $T$ 、締め固め時間を  $t$ 、施工データより得られる係数を  $\alpha$ 、 $\beta$  として、以下の表現式（1）により表現される。

$$F = \alpha \cdot P \cdot T \cdot t + \beta \quad (1)$$

より具体的には、トルク  $T$  はケーシングパイプ 13 のトルクのうちケーシング下部において発生する抵抗力に抗して回転するために必要な正味の駆動トルクを象徴するパラメータであって、引き抜き工程時のケーシングパイプ 13 の駆動トルクを  $T_1$ 、締め固め工程時のケーシングパイプ 13 の駆動トルクを  $T_2$  として  $T = T_2 / T_1$  で表すことができる。この場合には、パラメータ  $F$  は以下の表現式（1'）により算出される。

$$F = \alpha \cdot P \cdot T_2 / T_1 \cdot t + \beta \quad (1')$$

トルク  $T$  がケーシング下部において発生する抵抗力に抗して回転するために必要な正味の駆動トルクの情報を含むパラメータである限り他の表現形式を採用することも可能である。なお、締め固め工程時に圧力  $P$  やトルク  $T$  が工程時に有意に変動する場合には、

それぞれの時間変化を $P(t)$ 、 $T(t)$ として、式(1)を以下の式(2)に置き換えることもできる。

$$F = \alpha \int^t P(\tau) T(\tau) d\tau + \beta \quad (2)$$

5 押圧力 $P$ は油圧センサ18の油圧値に所定の係数を、トルク $T_1$ 、 $T_2$ は電流センサ24の電流値に所定の係数をそれぞれ掛けることにより算出される。なお、回動機構に油圧を利用する場合には油圧からトルク $T_1$ 、 $T_2$ が算出されることは当業者に容易に理解されるであろう。

10 締め固め工程以降は、前述したケーシングパイプ13の引き抜き工程と締め固め工程とを交互に繰り返す。これら繰り返し過程でケーシングパイプ13内の砂15が少なくなれば、その時点でケーシングパイプ13内のエアーを抜き、砂15の補給作業を行う。そして、図7の(6)の状態に示すように、ケーシングパイプ13の下端13aの深度がゼロに達した時点で終了する(ステップS12)。すると、ケーシングパイプ13を初期貫入させた位置に所定の締め付け力で締め付けられた砂杭30が造成される。

15 本実施形態による締め固め工程では、ケーシングパイプ13を下方に押圧すると共にケーシングパイプ13を回動して砂15を締め固め、締め固めを制御するためのパラメータである締め固め力 $F$ は、ケーシングパイプ13が砂15を押圧する押圧力 $P$ と、ケーシングパイプ13が砂13に対して回動するための駆動トルク $T(=T_2/T_1)$ とを要素とする。つまり、柱状の砂15を締め固める場合にはケーシングパイプ13から押圧力 $P$ のみを加える場合よりも押圧力 $P$ とトルク $T$ を付加した方が確実に締め固めさ  
20 れる。従って、砂15の締め固め状態、つまり、強度を把握するには押圧力 $P$ とトルク $T$ を要素とした外力を締め固め力とすることで正確に締め固め状態、つまり、砂杭30の強度を把握でき、その結果、所望の強度を有する砂杭30を造成することができる。しかも、押圧力 $P$ やトルク $T$ は新たな機構を付加することなく容易に測定可能な物理量から算出することができるので、推定された押圧力 $P$ やトルク $T$ に基づいて推定される  
25 締め固め力 $F$ が所定値 $F_0$ に到達した時点で締め固めを完了させる方法は、押圧とともに回動を用いる締め固め工法に適した方法である。

本実施形態では、締め固め力 $F$ の要素であるトルク $T$ として直前の引き抜き工程とその後の締め固め工程との相対的なトルク比( $T_2/T_1$ )を用いるため、地盤6の深度の違いによるケーシングパイプ13の側面におけるフリクション抵抗を除いた正味のトルク $T$ の大きさを評価することができる。従って、更に正確に締め固め状態、つまり、砂杭30の強度を把握でき、その結果、所望の強度を有する砂杭30を造成することが  
30 できる。

## (Third Embodiment)

## 第3実施形態

5 締め固め杭造成装置10による締め固め杭造成作業の第2実施形態を図7～図9に基づいて説明する。なお、本実施形態においては、図3～5に示す締め固め杭造成装置10および図8に示す初期貫入工程から引き抜き工程まで（ステップS1～S6）は第1実施形態と同じなのでこれらの説明は省略する。

10 引き抜き工程（ステップS6）によって、ケーシングパイプ13が引き抜かれた地盤6中のスペースに砂15が充填されると、次に、図7の（5）の状態に示すように、昇降機構17及び回転機構20を駆動してケーシングパイプ13を回転しつつ降下させることによって再貫入する締め固め工程を開始する（ステップS7）。この締め固め工程では、ケーシングパイプ13による締め固め力Fが所定の設定値 $F_0$ 以上である否か（ステップS18）をチェックし、さらに、締め固め力Fが設定値 $F_0$ 以上になると砂杭径Dが最小値 $D_1$ 以上に達したか否か（ステップS9）、締め固め力Fが設定値 $F_0$ 未満であれば砂杭径Dが最大値 $D_2$ に達したか否か（ステップS10）をチェックする。

20 ここで、締め固め状態 $\phi$ 、パラメータF、押圧力P、トルクTの用語の意義は実施形態1と同じである。本実施形態は第1実施形態において、押圧力またはトルクを含むパラメータFの他に杭径に関する情報を締め固め状態 $\phi$ の構成要素として加えたものであり、ステップS18、S9、S10が第1実施形態のステップS8の一態様である。最小砂杭径 $D_1$ 及び最大砂杭径 $D_2$ は、杭径一定で施工し、その押圧力と事前ボーリングデータとを土層毎に対照し、過去の施工データを参考としながら決定する。また、砂杭径Dは、直前の引き抜き工程前の砂面位置 $H_1$ と引き抜き工程終了後の砂面位置 $H_2$ との高低差 $\Delta H$ を砂面センサ16より検出して地盤6中に排出された砂量VSを算出し、この砂量と締め固め工程での締め固めストロークSを用いて、 $VS = \pi / 4 \cdot D^2 (\Delta H - S)$ より見積もることができる。

30 図9、10を参照して、締め固め工程を場合分けして説明する。本実施形態では以下の3通りのケースに応じて杭径Dについての条件に基づいて所定の締め固め条件 $\phi_0$ を設定しあるいは変更を加える。なお、図10において、横軸は当面目標とする所定の締め固め力 $F_0$ であり（工程において変更される場合がある）、縦軸は締め固めを完了した時点での現実の締め固め力 $F_f$ を表す。

ケースI：ケーシングパイプ13の締め固めによって砂杭30の杭径（杭断面積）が最小杭径（最小断面積） $D_1$ に達する前に締め固め力Fが所定の設定値 $F_0$ （= $F_b$ ）に達

した場合 ( $D = D_1' < D_1$ ) には、そのまま締め固めを続行し、砂杭 30 の杭径  $D$  が最小杭径  $D_1$  に達した時点で締め固めを完了する (ステップ S 1 1)。この場合は所定値  $F_0$  ( $> F_b$ ) が工程中に変更設定されたことになる。

5 ケースⅡ：ケーシングパイプ 1 3 の締め固めによって砂杭 30 の杭径  $D$  が最大杭径 (最大杭断面積)  $D_2$  に達する前に締め固め力  $F$  が所定の設定値  $F_0$  ( $= F_a$ ) に達した場合には締め固め力  $F$  が所定の設定値  $F_0$  に達した時点で締め固めを完了する (ステップ S 1 1)。

10 ケースⅢ：締め固め力  $F$  が所定の設定値  $F_0$  ( $= F_c$ ) に達する前にケーシングパイプ 1 3 の締め固めによる砂杭 30 の杭径  $D$  が最大杭径  $D_2$  に達した場合 ( $F = F_c' < F_c$ ) には、砂杭 30 の杭径  $D$  が最大杭径  $D_2$  に達した時点で締め固めを完了する (ステップ S 1 1)。この場合は所定値  $F_0$  が工程中に変更設定されたことになる。

以降、前述したケーシングパイプ 1 3 の引き抜き工程と締め固め工程とを交互に繰り返す。これら繰り返し過程でケーシングパイプ 1 3 内の砂 1 5 が少なくなれば、その時点でケーシングパイプ 1 3 内のエアーを抜き、砂 1 5 の補給作業を行う。そして、図 7  
15 の (6) の状態に示すように、ケーシングパイプ 1 3 の下端 1 3 a の深度がゼロに達した時点で終了する (ステップ S 1 2)。すると、ケーシングパイプ 1 3 を初期貫入させた位置に制限された締め付け力により締め付けられた砂杭 30 が造成される。造成される砂杭 30 の杭径  $D$  は、 $D_1 \leq D \leq D_2$  の範囲となる。

本実施形態の締め固め杭造成工法によれば、原地盤 6 が非常に軟弱な箇所であっても  
20 砂杭 30 の杭径 (杭断面積) が最大杭径 (最大断面積)  $D_2$  を越えることがなく、また、締め固め力  $F$  が所定の設定値に到達しなくても杭径 30 が最大杭径 (最大断面積)  $D_2$  を有することから必要最小限の強度が保持される。従って、原地盤 6 が非常に軟弱な箇所であっても強度的に不都合が発生しない程度の砂杭 30 を造成し、且つ、トータルの  
25 施工時間やトータルの砂量の増加を極力抑えることができる。また、原地盤 6 が非常に硬い箇所であっても砂杭 30 の杭径 (断面積)  $D$  が最小杭径 (最小断面積)  $D_1$  より小さくなることがなく、必要最低限の杭径 (断面積) を有する砂杭 30 が造成される。

尚、本実施形態では、ケーシングパイプ 1 3 が円筒状であるため、砂杭 30 の断面積  
30 に変えて径寸法を用い、砂杭径  $D$  が最小砂径  $D_1$  以上か、最大砂径  $D_2$  以上か否かを判別した。ケーシングパイプ 1 3 が円筒状以外の形態の場合には断面積を用いて砂杭 30 の大きさを制御する。但し、ケーシングパイプ 1 3 が円筒状以外の形状の場合には、ケーシングパイプ 1 3 の回動に困難を伴うため、ケーシングパイプ 1 3 を回動させることなく押圧力  $P$  のみで砂杭 30 を締め固めすることになる。この場合の締め固め力  $F$  は、



トルク  $T$  を要素としない押圧力  $P$  のみを要素とするものとなる。

- 本実施形態によれば、原地盤が非常に軟弱な箇所であっても杭断面積が最大断面積を越えることがなく、また、所定の設定値の締め固め力で締め固めされなくとも杭径が最大断面積を有することから必要最小限の強度が保持される。従って、原地盤が非常に軟弱な箇所であっても強度的に不都合が発生しない程度の砂杭を造成し、且つ、トータル
- 5      トールの施工時間やトータルの砂量の増加を確実に抑えることができる。

#### (Fourth Embodiment)

##### 第4実施形態

- 10      本発明による締め固め杭造成工法によれば原地盤強度に応じ、または軟弱地盤であっても適切に砂杭を造成することができるが、極めて軟弱な地盤の場合には、所定の強度を得ることが困難であったり、砂杭を造成する過程においてすでに造成した領域と未造成領域との間で強度の局在化を原因とする顕著な変位が発生する場合もある。本実施形態による締め固め杭造成方法は、図 11 に示すように、締め固め杭造成工程が、地盤改
- 15      良を施すエリア内により長い間隔 ( $d_1$ ) で第1の砂杭Aを造成する第1段階と、第1段階で造成された砂杭Aの間に第2の砂杭Bを造成する第2段階とから成る。その結果、図 11 の例では杭 30 の最終的な間隔は  $d_2$  となる。この造成方法によれば、第1段階で造成される砂杭Aは所定の設定強度を常に満足する必要はなく、締め固めにより砂杭Aの周辺の地盤強度が改善されることによって、第2段階での砂杭Bの造成において所
- 20      定の設定強度が容易に達成される。

各砂杭A、Bの締め固め杭造成工程については、図3～5に示す締め固め杭造成装置10および図7、8に示す初期貫入工程から引き抜き、締め固め工程までは第1実施形態と同様なのでこれらの説明は省略する。なお、杭造成の締め固め工程では必ずしも押圧力およびトルクにより締め固め力を推定して締め固め時間を制御する必要はない。

- 25      第1段階で造成される砂杭Aは必ずしも所定の設定強度を満足する必要はなく、第2段階で造成される砂杭Bが所定の設定強度を満足するために必要な程度に強度が確保されればよい。したがって、第1段階では各杭周辺の地盤の状況により第1実施形態～第3実施形態（特に第3実施形態）による締め固め杭造成工程が選択的に実施されることが好ましい。この場合には、締め固め強度を所定値よりも低く設定することができる。
- 30      第1段階が完了した時点における地盤を新たな改良すべき地盤とみなして、第2段階の砂杭Bの造成において第1実施形態～第3実施形態による締め固め杭造成工程を選択的に実施することができる。また、第2段階がさらに複数の造成段階から構成されてもよ

い。また、図11の実施形態では杭A、Bはそれぞれ一定間隔の正方格子上に配置されているが、杭A、Bの配置パターンは非周期的パターンも含めて任意に設定できる。

さらに、軟弱地盤等の存在により所定の強度の達成が困難な場合であっても、所定領域を第1段階の造成によって地盤強度のばらつきを低減して強度を均一に高めることができ、第2段階の造成によって所定の締め固めを実現することができる。第1段階で均一に地盤が強化されるために、軟弱地盤の杭造成であっても地盤の拘束力が補強されるので変位を抑えることができる。また、起振機などにより振動を加える工法ではすでに造成した杭が他の杭の造成による振動によって変位することがあるが、振動を伴わない杭造成工法では振動による変位が生じない。したがって、本実施形態による杭造成工程はより正確な造成を実現することができる本発明の他の実施形態による締め固め杭造成方法に適した方法である。

#### (Fifth Embodiment)

##### 第5実施形態

図12は回動機構の変形例の要部の斜視図である。第1実施形態～第4実施形態の回動機構20は一定方向に連続的にケーシングパイプ13を回動させるものとして説明したが、本実施形態の回動機構31は時計回り方向と反時計回り方向に交互に回動させる揺動機構である。つまり、回動機構31は、図12に示すように、一対の水圧シリンダ機構32、32を有し、この一対のシリンダ機構32、32の各ピストンロッド32aの先端がケーシングパイプ13の外周の略180度対向位置より突設された各連結アーム33に支持ピン34を介して連結されている。

一対の水圧シリンダ機構32、32が交互にその各ピストンロッド32aを進退移動することによりケーシングパイプ13が時計回り方向と反時計回りに交互に回動される。

本発明の締め固め工法に変形例の回動機構31を回動機構20の代わりに本発明の他の締め固め工法の実施形態に適用することができ、それらの作用・効果を得ることができる。そして、他の実施形態の回動機構20に比べてスィベルジョイント25を介在することなくエアーパイプ等をケーシングパイプ13に連結できるため、全体として締め固め杭造成装置10の機構が簡単になるという利点がある。

This application claims benefit of priority under 35USC §119 to Japanese Patent Applications No. 2003-174400, filed on June 19, 2003, and No. 2003-174402, filed on June 19, 2003, the

entire contents of which are incorporated by reference herein. Although the invention has been described above by reference to certain embodiments of the invention, the invention is not limited to the embodiments described above. Modifications and  
5 variations of the embodiments described above will occur to those skilled in the art, in light of the teachings. The scope of the invention is defined with reference to the following claims.